

Regelverfahren zur Stabilisierung attraktiver Kraftwechselwirkungen im Rasterkraftmikroskop

Vorteile

- Berührungsfreie, zerstörungsfreie Messungen im statischen AFM-Modus
- Schnelle und präzise Stabilisierung instabiler Cantilever-Positionen
- Nachrüstbar in bestehende AFM-Systeme

Fachbereich:

Messtechnik
Nanotechnologie /
Oberflächenphysik
Regelungstechnik

Technologie-Reifegrad (TRL):

TRL 4– Funktionsnachweis im
Labormaßstab

Schutzrechtssituation:

Patentanmeldung (DE)
DE 102025123158.3
[06/2025]

Angebot:

Lizenzierung
Entwicklungskooperation
Verkauf

Literatur:

Die vorliegende Erfindung ermöglicht erstmals die Stabilisierung instabiler Positionen im statischen Modus eines AFM-Cantilevers, sodass hochpräzise, nichtinvasive Messungen auch an empfindlichen Proben durchgeführt werden können.

Einleitung

Die Rasterkraftmikroskopie (AFM) stellt eine der zentralen Technologien dar, die es ermöglicht, Oberflächen im Nanometerbereich hochauflösend zu untersuchen und zu charakterisieren. Der dynamische Modus der AFM eignet sich insbesondere für minimal invasive Messungen an empfindlichen Proben, während der statische Modus hauptsächlich für robustere Proben verwendet wird, da er in der Regel direkten Kontakt zwischen der Spitze und der Probe erfordert. Bisher war es nicht möglich, im statischen Modus kontaktfrei zu arbeiten, da instabile Cantilever-Positionen zu plötzlichen "Snap-in" und "Snap-off"-Bewegungen führen können. Eine kontaktfreie und probenschonende Betriebsweise würde den Anwendungsbereich des statischen Modus erheblich erweitern.

Innovation

Die vorliegende Erfindung präsentiert ein innovatives Regelungsverfahren für den statischen Modus der Rasterkraftmikroskopie (AFM). Dieses Verfahren ermöglicht erstmals einen vollständig kontaktfreien und probenschonenden Betrieb. Das Ziel besteht darin, die instabilen Positionen des AFM-Cantilevers – insbesondere im attraktiven Bereich der Wechselwirkung zwischen Spitze und Probe – zu stabilisieren. Dadurch ist es möglich, auch empfindliche oder weiche Proben hochpräzise und zerstörungsfrei zu vermessen.

Das Verfahren nutzt ein Zwei-Piezo-Antriebssystem, das mit einer leistungsstarken, Echtzeit-Regelung kombiniert wird. Der in den meisten AFM-Systemen integrierte Piezo-Aktuator dient hierbei der Grobpositionierung des Cantilevers in Relation zur Probenoberfläche. Zusätzlich kommt ein schneller Piezo-Kristall zum Einsatz, der in der Lage ist, hochfrequente Korrekturen im Mikrosekundenbereich ($< 1 \mu s$) vorzunehmen. Die Realisierung dieses schnellen Aktuators kann entweder als separates Element in der Nähe des Cantilevers erfolgen oder über den "Dither-Piezo", der in vielen AFM-Systemen vorhanden ist und normalerweise zur Anregung im dynamischen Modus dient.

Die Steuerung des Systems erfolgt durch einen PI- oder PID-Regler, welcher kontinuierlich auf die Sensordaten zur aktuellen Position sowie die Wechselkräfte zwischen der Spitze und der Probe reagiert. Die Echtzeit-Signalverarbeitung ermöglicht es, den Cantilever in instabilen Positionen zu halten, was ein abruptes "Snap-in" oder "Snap-off"-Verhalten verhindert. Es wird sichergestellt, dass der Abstand zwischen Spitze und Probe konstant bleibt, wobei ein mechanischer Kontakt vermieden wird.

Dieses Konzept eröffnet ganz neue Möglichkeiten für den statischen Modus, der bisher hauptsächlich für robuste Proben und invasive Messungen, z.B. Reibung, verwendet wurde. Der kontaktfreie Betrieb ermöglicht die Untersuchung empfindlicher duktiler und biologischer Proben, weicher Materialien oder nanostrukturierter Oberflächen ohne Beschädigung. In diesem Prozess werden die hohe Auflösung und Messgenauigkeit des statischen Modus mit der Probenfreundlichkeit des dynamischen Modus kombiniert.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Erfindung ohne grundlegende Änderungen an der bestehenden AFM-Hardware umgesetzt werden kann. Die genannte Nachrüstbarkeit des Verfahrens erweist sich insbesondere für Hersteller und Anwender von AFM als attraktiv, da bestehende Systeme durch ein unkompliziertes Upgrade der Steuerung und Software signifikant optimiert werden können.

Die vorliegende Erfindung schließt eine technologische Lücke im aktuellen Stand der Technik und ermöglicht einen echten Paradigmenwechsel in der AFM-Messtechnik: Weg vom reinen Kontakt- oder dynamischen Betrieb, hin zu einem präzisen, kontaktfreien statischen Modus, der höchste Messqualität mit maximaler Probenintegrität vereint.

Universität Rostock
Service GmbH

+49 (0)381 498-9803
patente-vvb@uni-rostock.de
www.verwertungsverbund-mv.de

Postadresse:
Universität Rostock Service GmbH
18051 Rostock

Vorteile

- Berührungsfreie, zerstörungsfreie Messungen im statischen AFM-Modus
- Schnelle und präzise Stabilisierung instabiler Cantilever-Positionen
- Nachrüstbar in bestehende AFM-Systeme

Fachbereich:

Messtechnik
Nanotechnologie /
Oberflächenphysik
Regelungstechnik

Technologie-Reifegrad (TRL):

TRL 4– Funktionsnachweis im
Labormaßstab

Schutzrechtssituation:

Patentanmeldung (DE)
DE 102025123158.3
[06/2025]

Angebot:

Lizenzierung
Entwicklungskooperation
Verkauf

Literatur:

Vorteile und Anwendungspotenziale

Die Erfindung ermöglicht durch die simultane und präzise Steuerung unterschiedlicher Stimulationsformen ideale Bedingungen für die schnelle räumliche und zeitlich Abtastung weicher, dynamischer Oberflächen. Außerdem können Spitze-Proben Abstände kontinuierlich konstant gehalten werden, ohne Medien zu verwirbeln und indirekt Prozesse auszulösen. Stimuli können über die „schwebend“ gehaltene Spitze berührungsfrei appliziert werden, beispielsweise um elektrische bzw. magnetische Polarisierung von Material-Oberflächen oder Differenzierung von lebenden Zellen lokalisiert auszulösen. Da der Federbalken nicht schwingt, kann die Konfiguration während des Auslösers und des Messprozesses unverändert bleiben, wodurch der Messvorgang unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt werden kann. Insbesondere im Bereich Transport von Anregungen durch Nanostrukturen und der Regeneration von Knorpel und Knochen bietet dieses System signifikante Vorzüge im Vergleich zu herkömmlichen Herangehensweisen, mit schwingenden Federbalken.

Wesentliche Vorteile im Überblick:

- Präzise Abstandskontrolle mit Mikrosekunden-Reaktionszeit
- Kompatibel mit bestehender AFM-Hardware
- Erweiterte Anwendungsbreite auf empfindliche Proben und weiche Materialien
- Verbesserte Datenqualität durch stabile Messbedingungen

Relevanz und Marktpotential

Die Erfindung eröffnet die Möglichkeit eines vollständig kontaktfreien Betriebs des statischen AFM-Modus und ermöglicht somit die Realisierung von Anwendungen, die bislang nicht realisierbar waren. In Branchen, in denen höchste Messgenauigkeit und Probenintegrität von entscheidender Relevanz sind – wie etwa in der Halbleitertechnik, der Biotechnologie und der Materialwissenschaft – erweist sich diese Technologie als besonders relevant. Die einfache Nachrüstbarkeit in bestehende AFM-Systeme bietet sowohl Herstellern als auch Anwendern einen erheblichen technologischen Mehrwert.

Aktueller Stand

Für die vorliegende Erfindung wurde eine deutsche Patentanmeldung (DE 102025123158.3) eingereicht. Die Anmeldung schützt ein innovatives Regelungsverfahren zur Anpassung einer instabilen, attraktiven Kraft-Wechselwirkung in einem Rasterkraftmikroskop. Dazu gehören ein speziell entwickeltes Mikroskop, ein passendes Computerprogramm und ein computerlesbares Medium. Derzeit befindet sich die Anmeldung im Prüfungsverfahren. Zudem besteht die Möglichkeit, durch internationale Nachanmeldungen wie eine PCT-Anmeldung den Patentschutz auf weitere Länder auszudehnen und strategisch wichtige Märkte abzudecken.

Die Universität Rostock bietet interessierten Partnern die Möglichkeit, das geschützte Verfahren und die zugehörigen Technologien im Rahmen von Lizenzierungen, Kooperationen oder Entwicklungsprojekten weiterzuentwickeln und in die industrielle Anwendung zu überführen. Ziel ist es, die Rasterkraftmikroskopie entscheidend voranzubringen und neue Standards in der hochauflösenden Nanomessung zu setzen.

Universität Rostock Service GmbH

+49 (0)381 498-9803
patente-vvb@uni-rostock.de
www.verwertungsverbund-mv.de

Postadresse:
Universität Rostock Service GmbH
18051 Rostock

Kontakt:

Service GmbH der Universität Rostock
patente-vvb@uni-rostock.de
Tel.: +49 (0)381 498-9803